

Ивенс Р.М.

Введение в теорию цвета

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 7.02
ББК 85
И25

И25 **Ивенс Р.М.**
Введение в теорию цвета / Ивенс Р.М. – М.: Книга по Требованию, 2013. –
466 с.

ISBN 978-5-458-24263-9

Книга охватывает широкий круг вопросов, связанных с цветом источников света и различных отражающих и пропускающих свет материалов, основами цветового зрения и цветовыми восприятиями. Рассмотрены также вопросы классификации и измерений цвета и использования цвета в цветной фотографии и живописи. Книга написана в популярной форме, без применения математического аппарата и в то же время весьма полно и на высоком научном уровне излагает современное состояние науки о цвете. В ней более 300 иллюстраций, из которых наиболее интересны 15 цветных вклейк, поясняющих ряд особенностей цветового восприятия. Книга представляет большой интерес как для специалистов в области светотехники, колориметрии, физиологии зрения, живописи, фотографии, так и для широкого круга читателей, желающих подробно ознакомиться с наукой о цвете.

ISBN 978-5-458-24263-9

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Равенство по цвету двух излучений, наблюдаемых в одинаковых условиях, обусловлено равенством реакций трех селективных приемников глаза. Таким образом, цвет излучения является сложной характеристикой и может быть выражен в виде трех чисел — координат цвета, определенным образом связанных с реакциями цветоощущающих приемников глаза.

Существование в сетчатке глаза именно трех приемников излучения в настоящее время не должно рассматриваться как гипотеза, а полностью доказывается тем экспериментальным фактом, что любое излучение может быть уравнено по цвету с суммой трех других определенным образом выбранных излучений. Эксперименты по так называемому сложению цветов позволили не только доказать трехкомпонентность цветового зрения, но и построить единую научно обоснованную систему классификации цвета, рекомендованную Международной комиссией по освещению (МКО) в 1931 г.

От координат цвета в системе МКО (обозначаемых x , y , z) легко перейти к системе координат, раздельно характеризующей количественную оценку цвета — яркость и качественную его оценку — цветность, определяемую доминирующей длиной волны и частотой цвета.

С помощью изложенной выше системы оценки цвета излучения различных спектральных составов могут быть разбиты на группы, совпадающие по цвету. Данному цвету излучения теоретически соответствует бесконечно большое число возможных спектральных составов излучения. Многообразие цветов трехмерно и, следовательно, значительно меньше многообразия возможных кривых спектрального распределения энергии излучения. Цвет излучения, как всякая трехмерная величина, может быть изображен в виде вектора или точки в пространстве трех измерений.

Изложенная выше система оценки цвета излучения тремя числами в отличие от физической оценки называется автором (по нашему мнению, не совсем удачно) психофизической, что должно подчеркивать, что в ней определенным образом учтены особенности цветового зрения глаза человека.

Психофизическая система оценки цвета излучения позволяет решить вопросы классификации цветов, их сложения и рассчитывать цвет излучения сложного спектрального состава, однако координаты цвета не определяют полностью и однозначно вызываемые излучением цветовые ощущения и восприятия.

Цветовые ощущения существенным образом зависят от цвета фона, на котором наблюдается данный объект, времени наблюдения, цвета поверхности, наблюдавшейся ранее глазом, и многих других физических и психологических факторов. Понятия цвета как ощущения или восприятия значительно сложнее и шире, чем чисто психофизическая оценка цвета.

В приводимой автором классификации цветовые восприятия объединены в одном общем разделе — психология. Цветовые ощущения характеризуются светлотой, цветовым тоном и насыщенностью, которые определенным образом связаны с соответствующими психофизическими понятиями — яркостью, доминирующей длиной волны и чистотой цвета.

Поясним разницу между физическими, психофизическими и психологическими характеристиками излучения на примере световых восприятий. Предположим, что глаз наблюдает некоторую равномерно светящуюся поверхность. С физической точки зрения излучение этой поверхности по направлению к глазу наблюдателя полностью определяется ее спектральной энергетической яркостью. Суммирование этой величины для всех длин волн спектра излучения дает величину полной энергетической яркости поверхности. Соответствующая ей психофизическая величина — яркость — может быть получена суммированием энергетических яркостей отдельных монохроматических составляющих, умноженных для каждой длины волны на соответствующую функцию спектральной чувствительности глаза, так называемую кривую видности стандартного наблюдателя.

Можно считать, что при определении яркости глаз как бы заменяется некоторым идеальным приемником излучения с кривой спектральной чувствительности, соответствующей средней кривой видности. Такие приемники в виде фотоэлементов, снабженных светофильтрами, приводящими их спектральную чувствительность к соответствующей кривой глаза человека, действительно используются для целей световых измерений.

Соответствующая психологическая величина — светлота — должна как бы характеризовать ощущение яркости. Следует прежде всего указать, что светлота не пропорциональна яркости, а связана с ней в общем случае степенной зависимостью с показателем степени, определяемым уровнем яркости. В определенном диапазоне яркостей эта зависимость близка к логарифмической (закон Вебера — Фехнера). Однако светлота в определении автора зависит не только от величины яркости наблюдаемой поверхности, а также от яркости фона, на котором эта поверхность наблюдается, от состояния адаптации глаза наблюдателя, времени наблюдения и многих других факторов. Две поверхности совершенно одинаковой яркости и цветности могут восприниматься глазом как поверхности различной светлоты, если условия их наблюдения не одинаковы.

В первом приближении можно считать, что каждая из психологических характеристик цвета в основном определяется соответствующей ей психофизической характеристикой. Однако при более тщательном рассмотрении оказывается, что любая из характеристик цветового ощущения до некоторой степени зависит от всех

трех психофизических характеристик цвета. Так, например, светлота двух поверхностей одинаковой яркости, но различной цветности может оказаться неодинаковой даже при одинаковых условиях наблюдения. При изменении яркости и неизменном относительном спектральном составе излучения доминирующая длина волны и чистота цвета остаются, естественно, неизмененными, но ощущения цветового тона и насыщенности могут несколько измениться.

Можно, следовательно, прийти к заключению, что в то время как физика и психофизика цвета позволяют характеризовать его количественно, путем соответствующих расчетов или измерений, цветовые ощущения, зависящие от многочисленных и трудно учитываемых факторов, в настоящее время не поддаются количественной оценке. Стого оговорив условия наблюдения, мы можем, однако, находить совокупность цветов излучения, соответствующих постоянному значению одной из психологических характеристик. Так, например, можно определить экспериментально и изобразить графически совокупность цветов, дающих одинаковое ощущение цветового тона или светлоты цвета. Такая совокупность может быть также зафиксирована и в виде определенных материальных образцов—атласа цвета, в котором образцы сгруппированы по признакам равенства светлоты, цветового тона или насыщенности. Любая из шкал, например шкала светлоты или насыщенности, может быть разбита на участки, одинаково отличающиеся по восприятию друг от друга, причем для каждой ее ступени можно измерить соответствующие ей психофизические (колориметрические) характеристики.

Для количественной оценки цветовых ощущений может быть использован также так называемый метод порогов различия, при котором определяются минимальные вариации цвета, впервые замечаемые глазом. Использование пороговых данных позволяет, например, характеризовать светлоту поверхности числом порогов различия между черной поверхностью и данной, а насыщенность цвета — числом порогов различия между белым излучением и данным при определенном уровне светлоты.

Следует еще раз подчеркнуть, что все такие построения имеют смысл лишь при строгой фиксации условий наблюдения как в отношении наблюдаемого поля, так и состояния глаза наблюдателя.

Еще с большими трудностями приходится сталкиваться, когда от простейших цветовых ощущений мы переходим к рассмотрению восприятия предмета как комплекса ощущений различных органов чувств, отражающих совокупность свойств предметов. При этом обнаруживается, что восприятие цвета зависит также от таких факторов, как размер и форма предмета, расстояние наблюдения, фактура, характер отражения света и пр.

Человек в познании природы не ограничивается лишь тем, что он воспринимает непосредственно при помощи органов чувств, а дополняет свои ощущения мышлением, учитываяющим весь его предшествующий опыт, благодаря чему чувственные восприятия обобщаются в форме определенных представлений.

Все изложенные выше особенности процесса возникновения цветовых ощущений и восприятий нашли в той или иной форме свое отражение в предлагаемой читателю книге.

Книгу условно можно разбить на четыре основных раздела. Первый раздел (гл. I—VI) посвящен физическим основам науки о цвете, источникам света, основам светотехники и свойствам цветных поверхностей в различных условиях освещения. Второй раздел (гл. VII—XI) включает в себя главы о строении и свойствах глаза человека и психологии цвета — цветовых и цветовых восприятиях. Третий раздел книги (гл. XII—XVI) посвящен вопросам психофизической оценки цвета — измерениям и спецификации цвета и цветовых различий, аддитивному и субтрактивному смешению цветов и влиянию освещения на цвет предметов. В последнем, четвертом, разделе книги (гл. XVII — XI) изложены прикладные вопросы цветоведения: свойства красок и пигментов, применение цвета в фотографии и живописи и некоторые вопросы гармонии цветов.

К сожалению, план построения книги не полностью соответствует приведенной в первой главе классификации цветовых понятий. Вопросы цветовых восприятий излагаются автором раньше, чем вопросы измерения и спецификации цвета, что не может не затруднить их понимание.

Автору не удалось избежать некоторых повторений в изложении материала (например, вопросы классификации цвета, цветовой адаптации и др. затронуты в различных главах книги). Эти повторения в пределах возможного были исключены при редактировании книги.

Главы, посвященные физическим основам света, основам светотехники и цветовым расчетам и измерениям, написаны в предельно популярной форме. Как и во всей книге, автор не использует в этих главах даже простейших математических соотношений и не дает четких определений основных величин и единиц их измерения. Такая форма делает изложение доступным для широкого круга читателей, однако снижает интерес к этим разделам читателей с достаточной теоретической подготовкой. В главе, посвященной источникам света, отсутствует описание некоторых разработанных в последнее время источников: ртутно-кварцевых ламп с исправленной цветопередачей, ксеноновых ламп, новых типов люминесцентных ламп и пр.

Вопросы колориметрии изложены автором весьма неполно и поверхностно. В частности, совершенно отсутствует описание сов-

ременных фотоэлектрических приборов для спектральных и цветовых измерений, интеграторов цвета и пр.

Излагая основы цветового зрения, автор не приводит современных теорий цветового зрения. В книге отсутствуют также многие из предложенных систем оценки цвета, в которых сделаны попытки связать цветовые восприятия с колориметрической оценкой цвета. В книге также слабо отражен важный вопрос о методах оценки качества цветопередачи источников света.

Наиболее интересными и в то же время наиболее сложными для понимания являются главы книги, связанные с иллюзиями зрения и со световыми и цветовыми восприятиями. Автор трактует вопросы цветовых ощущений и восприятий во всей их полноте, без каких-либо упрощений. Подробно анализируется зависимость цветовых восприятий от таких факторов, как цвет фона, условия освещения, фактура поверхности, особенности наблюдения и пр. Наглядно показано влияние на цветовое восприятие явлений одновременного и последовательного цветового контраста, константности цвета, цветовой адаптации и др.

Автор пытается объяснить ряд явлений цветового зрения, в том числе одновременный и последовательный контраст и др., исходя из цветовой адаптации. При этом процесс адаптации он трактует упрощенно, как изменение чувствительности трех селективных приемников глаза. Следует указать, что эти явления не могут быть полностью сведены к адаптационным, а в самом процессе цветовой адаптации важную роль играют, помимо процессов, происходящих в сетчатке, ряд чисто психологических факторов.

Много нового и интересного читатель найдет в последних главах книги, посвященных применению цветоведения в фотографии и искусстве.

Автор, разбирая вопросы цветовых восприятий, роли цвета в искусстве и вопросы цветовой гармонии, в основном стоит на объективных научных позициях, близких к материалистическим. Однако в своем изложении он не всегда последователен и в отдельных его высказываниях проявляется влияние концепций современной идеалистической философии и буржуазного искусства. В связи с этим мы были вынуждены снабдить текст рядом оговорок и уточнений, а отдельные разделы книги дать в сокращенном переводе.

Нельзя сказать, чтобы замысел автора о создании всеобъемлющей книги по цветоведению удался ему полностью. Тем не менее книга содержит много нового фактического материала, изложение основ цветоведения ведется автором с использованием большого количества практических примеров и с привлечением богатого иллюстративного материала, в виде таблиц и графиков, а также цветных вклейек. Поэтому книга Р. Ивенса может быть с полным основанием рекомендована читателям как введение в науку о цвете, необходимое

для дальнейшего изучения специальной литературы, посвященной отдельным проблемам цветоведения.

Следует указать, что автор совершенно не учитывает работы советских колориметристов, внесших много нового в науку о цвете. Основные книги по колориметрии, изданные в Советском Союзе, а также зарубежные издания, не вошедшие в приводимую автором библиографию, помещены в конце книги в виде списка дополнительной литературы. В процессе редактирования книги нами сделан ряд примечаний, частично разъясняющих текст, а частично содержащих ссылки на исследования, не упомянутые автором.

В переводе книги принимали участие Н. А. Аваткова, С. Д. Грудская, С. А. Друккер, И. С. Файнберг, В. С. Хазанов, Л. С. Шелков и К. Р. Янсон.

С. С. Алексеев взял на себя труд по рецензированию книги и просмотрел некоторые главы перевода, сделав ряд ценных замечаний.

Д. А. Шкловер

Пре́дисловие автора

Наука о цвете интересует широкий круг читателей столь различных специальностей, что очень трудно написать книгу, которая была бы полезна для всех. Прежде всего значительные трудности возникают при выборе строгой и в то же время общепонятной терминологии. В настоящей книге слова используются преимущественно в их значении, применяемом в обычной разговорной речи, при минимальном числе новых определений и терминов. Вторая трудность заключалась в том, что при достаточно полном изложении основ науки о цвете необходимо было опираться на весьма большое число других связанных с ней областей науки и искусства. Цветоведение охватывает в основном три большие области науки—физику, психофизику и психологию. До настоящего времени не было монографий, в которых читатели имели бы возможность ознакомиться со всеми тремя указанными выше разделами науки о цвете одновременно. Настоящая книга написана с целью восполнить этот пробел. Каждое из этих трех направлений получило в книге самостоятельное развитие, и все они рассмотрены во взаимосвязи в конце книги. Мы надеемся, что принятый нами метод изложения, даже если он делает отдельные части книги менее интересными, даст возможность изучающим ее независимо от подготовки познакомиться с некоторыми новыми сторонами науки о цвете, которые им были ранее неизвестны.

Задача автора состояла в том, чтобы написать книгу таким образом, чтобы любой внимательный читатель мог освоить основы науки о цвете. Именно с этой целью, а не только для облегчения изложения, в книге приведено большое количество иллюстраций, снабженных подчас подробными пояснениями. За исключением нескольких последних глав, в графиках по возможности просто отражены основные проблемы цветоведения и свойства света и цвета, которые излагаются в данном разделе текста. В связи с этим графики следует рассматривать одновременно с другим иллюстративным материалом.

Наконец, имеется трудность, которая иногда кажется непреодолимой, заключающаяся в том, что текст книги носит, насколько это возможно, целиком описательный характер практически без

использования каких-либо математических соотношений. Хотя в связи с этим некоторые положения книги могут показаться недостаточно обоснованными, мы надеемся, что возможность ее изучения читателями, не знакомыми с точными науками, вполне компенсирует этот недостаток.

Наука о цвете затрагивает в какой-то степени всех людей независимо от их специальности. К сожалению, изложение основ науки о цвете невозможно упростить, не представив ее односторонне. В данной книге сделана попытка изложить цветоведение по возможности полно, без каких-либо упрощений.

Почти все приведенные в книге положения просты и непосредственны. В общей науке о цвете некоторые из этих простых идей объединяются в весьма сложные комплексы. Автор не пытался упростить эти случаи, так как именно в них и заключается сущность науки о цвете. Автор готов нести полную ответственность за способ и последовательность изложения основных положений книги.

Наряду с идеями различных исследователей, приводимыми большей частью без ссылок на первоисточники, в книге изложена также точка зрения самого автора. Автор надеется, что изложение принципов, использовавшихся им самим в течение 20 лет творческой работы в области цвета и цветной фотографии, будет также полезно другим, как было полезно ему самому в начале работы.

Книга создавалась постепенно в течение ряда лет, и автор выражает свою признательность многим лицам, с которыми он имел возможность обсуждать различные стороны науки о цвете.

Ральф М. Иванс

ГЛАВА I

Цвет и свет

Цвет и форма — основные признаки, характеризующие наблюдаемый предмет и обуславливающие его индивидуальность. Из этих двух признаков для правильного опознавания предмета цвет обычно менее важен. Однако он является одной из основных качественных характеристик объекта. Цвет редко оценивается как самостоятельный фактор, и ему обычно отводится вспомогательная роль. Он придает свое очарование, свою индивидуальность форме, совместно с которой он зрительно воспринимается. Однако, если рассматривать цвет в отрыве от формы, эти особенности могут исчезнуть. В этом и только в этом цвета аналогичны отдельным звукам в музыке. Звучание отдельной ноты нельзя сравнить по красоте со звучанием той же ноты в аккорде, являющимся частью музыкального произведения. Точно так же цвет вносит свой вклад в общий вид объекта. Один и тот же цвет в зависимости от обстоятельств может быть приятным или неприятным, привлекательным или отталкивающим, «благородным» или «кричащим». Некоторые из привычных значений слова «цвет» отражают его способность характеризовать наблюдаемый объект или обстановку. Примером использования цветовой терминологии могут служить такие выражения, как «хроматическая личность» или «тоска зеленая».

Любая попытка дать удовлетворительное определение слову «цвет» обязательно связана со всеми сложностями зрительного восприятия. Рассмотрение различных значений, которые может иметь это слово, составляет по существу предмет исследования данной книги. Однако, прежде чем перейти к существу вопроса, необходимо уяснить себе всю его многогранность. Лишь за последние годы достаточно ясно определилась роль различных факторов, влияющих на преобразование лучистой энергии в ощущение цвета, т. е. в качество, связанное с восприятием. Естественно, что в повседневной жизни словом «цвет» определяют многие звенья длинной цепи понятий, в результате чего в настоящее время его применения столь разнообразны, что оно потеряло точное значение. С другой стороны, при попытке обобщить все значения этого слова обнаруживается, что оно является почти синонимом слова «свет».

Например, бывают такие сложные случаи, когда лучистая энергия источника света изменяется при отражении от отдельных

предметов, попадает в глаз и воспринимается нами как свойство этих предметов. В подобных случаях мы говорим о цвете источника, цвете объекта и о воспринимаемом цвете. Мы, безусловно, правы, говоря, что свет от «белого» источника проходит через «желтое» прозрачное вещество, падает на пурпурный объект и зрительно воспринимается как «красный» цвет. Столь же разумно высказывание о том, что, например, «желтый» монохроматический свет в некоторых случаях зрительно воспринимается как «зеленый». Эти названия цветов относятся к различным аспектам обсуждаемого вопроса и связаны со зрительным восприятием в различных условиях. Проблема цвета чрезвычайно сложна, и, чтобы в ней разобраться, необходимо провести тщательные исследования.

В настоящее время проводится большая работа по подготовке точной терминологии по цветоведению. Необходимость в такой терминологии очевидна. Для того чтобы можно было точно сослаться на ту или иную фазу цветового восприятия, необходимо пользоваться конкретными терминами. Вопросы цветовой терминологии рассмотрены в докладе Комитета по колориметрии Американского оптического общества («The Optical Society of America»), представленном в 1944 г.¹⁾ В этом докладе делается попытка разрешения задачи, исходя из трех основных аспектов, для каждого из которыхдается точная терминология. Чтобы понять необходимость такой всеобъемлющей классификации, следует предварительно ознакомиться с процессом зрительного восприятия.

Глаз — это один из органов чувств человека. Так же, как мы ощущаем давление (через прикосновение), температуру (чувствуя тепло или холод), мы ощущаем определенные виды лучистой энергии, называемой светом. Излучение источника света, попадая в глаз, вызывает определенную реакцию мозга, в результате чего мы говорим, что видим свет. Свет, отраженный от объекта, отличается от света, попадающего в глаз непосредственно от источника, как качественно, так и количественно.

К сожалению, нет двух людей, которые воспринимали бы свет абсолютно одинаково; более того, никто ничего не может сказать о природе изображений, возникающих у другого. Итак, наука о зрительном восприятии делится на три основных раздела, которые в свою очередь распадаются на множество подразделов. Прежде всего следует сказать о физике источника света и тех объектов и веществ, которые могут изменить свет этого источника; затем — о чувствительности самого глаза, измеренной в определенных условиях методами, которые будут рассмотрены ниже. Большое коли-

¹⁾ Разработка цветовой терминологии ведется в ряде стран уже давно. Терминология по колориметрии, рекомендованная в СССР, приведена в сб. «Терминология светотехники», Изд-во АН СССР, 1957.— Прим. ред.